第 37 卷第 7 期
2017 年 4 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.7
Apr.,2017

DOI: 10.5846/stxb201511192337
罗先真,熊源新,夏欣,曹威,钟世梅,崔在宁,谈洪英,刘良淑.环境因子对湖泊岛屿苔藓植物分布和物种组成的影响.生态学报,2017,37(7):2352-2359.
Luo X Z, Xiong Y X,Xia X, Cao W, Zhong S M, Cui Z N, Tan H Y, Liu L S.Environmental variables affect species composition and distribution of Bryophytes.Acta Ecologica Sinica,2017,37(7):2352-2359.

环境因子对湖泊岛屿苔藓植物分布和物种组成的影响

罗先真[1],熊源新[1,*],夏 欣[1],曹 威[1],钟世梅[1],崔在宁[1],谈洪英[1],刘良淑[2]
1 贵州大学, 生命科学学院,贵阳 550025
2 贵州大学, 林学院, 贵阳 550025

摘要:苔藓植物对环境有很强的敏感性,且具有广泛的适应性和强大的繁殖能力,在生态环境监测和生态恢复上具有重要作用。通过野外样地调查方法,回归分析和典范对应分析(CCA)探索了环境因子对物种分布和组成的影响,偏 CCA 计算了各环境因子对物种组成的总效应和净效应。结果表明:苔藓植物种类及物种组成相似性随着岛屿面积和岛屿海拔高度的增大而极显著的增大,随岛屿形状指数和岛屿离陆地最近距离的增大而显著的减小;8 个环境因子共解释了物种组成变异的 35.6%,其中基质、坡度、草本盖度、坡向、乔灌层郁闭度、人为干扰、空气湿度和海拔对物种组成的净效应达到显著水平($P<0.05$),但其作用强度依次减小;美灰藓 *Eurohypnum leptothallum* 是最优势种,受环境因素小,它在其发生的 77.7%取样样方中盖度达到 19.2%。
关键词:岛屿;苔藓植物;生态;典范对应分析(CCA);环境因子

Environmental variables affect species composition and distribution of Bryophytes

LUO Xianzhen[1], XIONG Yuanxin[1,*], XIA Xin[1], CAO Wei[1], ZHONG Shimei[1], CUI Zaining[1], TAN Hongying[1], LIU Liangshu[2]
1 *College of Life science*, *Guizhou University*, *Guiyang* 550025, *China*
2 *College of Forestry*, *Guizhou University*, *Guiyang* 550025, *China*

Abstract: Bryophytes are sensitivity to the changes in the environment, exhibit high degree of adaptability and ability to reproduce, and play an important role as bioagents in monitoring of the ecological environment and ecological restoration. In the present study, the relationship between species composition and environment variables was elucidated by the canonical correspondence analysis (CCA), regression analysis and Hongfeng river field survey. Partial CCA was used to calculate the gross and net effects on species richness to each environmental variable. The number of bryophytes and composition similarity of species increased along with the increasing area and height of islands (Yejipo, Gantianbian Island1, Xinzhuang Island1, Hongfeng river island1, Yuanyang island1, Yuanyang island2, Hongfeng river island2, Xinzhuang island2 and Ganbiantian island2 with less human disturbance) but declined with increasing island shape index and the closest distance of island from land. Eight environmental variables totally explained 35.6% of total variation in species composition, of which the net effects of matrix, slope, herbcov, aspect, canopy, human disturbance, moisture and altitude on species composition were significant ($P<0.05$), however, the intensity of their effect decreased successively. *Eurohypnum leptothallum* is the most dominate species with little impact from environment, emerge in 77.7% of samples and coverage of at least 19.2%.

Key Words: Island; Bryophytes; ecology; CCA; environment factors

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31360041);贵州大学研究生创新基金资助项目(研农 2016001)
收稿日期:2015-11-19; **网络出版日期:**2016-08-30
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xiongyx@ vip.sin.com

人类活动如森林砍伐,修筑大坝等是形成岛屿的原因和形式之一[1],岛屿化过程通过影响苔藓植物个体行为、种群动态,从而作用于生态系统的各个环节。岛屿作为隔离的生境片段对苔藓植物的生长和繁殖影响很大。并且苔藓植物(Bryophytes)是植物界中的一大类群,具有广泛的适应性和强大的繁殖能力,是生态系统中重要的生产者,也是生态系统演变过程中关键的拓荒者[2]。

贵州省湖泊红枫湖是长江水系和珠江水系分水岭处的一个人工湖,形成了 100 多个大小各异的岛屿,湖面开阔,平均水深 10.52 m,湖岸长为 92.7 km,水域面积 57.2 km^2,湖面正常水位高为 1240 m,总库容 6.01 亿 m^3,有效库容 4.306 亿 m^3,建成于 1960 年,是贵州省目前最大的人工湖泊,具有多种功能,也是岛屿最多的高原岩溶湖泊,具有山区深水水库的典型特征[3-5]。苔藓植物在湖区岛屿上广泛分布,种类数量多,从而为揭示岛屿苔藓植物生态系统的自然变化提供了极好的条件。目前对岛屿化研究主要集中在种子植物的维持、更新与多样性,以及岛屿面积和岛屿离陆地最近距离对种子植物种类的影响[6]。然而对该地区的岛屿化苔藓植物的研究,特别是在岛屿隔离对苔藓植物的多样性的研究很少,Patiño [7] 对片段化苔藓植物的研究和王莹莹等[8-10]对千岛湖苔藓植物的研究,主要集中岛屿面积与苔藓植物丰富度上,而在岛屿面积、海拔、缀块形状指数及离陆地最近距离与苔藓植物种数和物种组成相似性方面的研究未见,也未见具体的环境因子(基质、空气湿度、人为干扰等)对岛屿苔藓植物物种组成及分布的影响的研究。因此,本文以苔藓植物为对象,于 2014 年 4 月 11—20 日进行为期 10 天对亚高原湖泊红枫湖 9 个人为干扰相对较少的岛屿(野鸡坡、干田边岛 1、新庄岛 1、红枫湖岛 1、鸳鸯岛 1、鸳鸯岛 2、红枫湖岛 2、新庄岛 2、干田边岛 2)上的苔藓植物和岛屿环境进行了调查和记录,探究了岛屿地理因子(岛屿面积,海拔,缀块形状指数和离陆地最近距离)对苔藓植物的种类及与陆地物种组成相似性的影响,也揭示了岛屿上的苔藓植物的物种分布和组成与环境因子的关系。

1　研究地点和方法

1.1　研究地点

根据岛屿大小和实验的要求,选取了红枫湖中 9 个人为干扰相对较少的岛屿作为研究地,位于贵阳市南部,地理坐标是 106°33′—106°47′E,26°23′—26°61′N。调查地区处于低纬度,高海拔地区,海拔 1000 m 以上,雨量充沛,年降水量 1200 mm, 年平均温度 15.3 ℃,历史上最低温度为零下 9.5 ℃,极端高温 39.5 ℃,相对湿度大,无霜期 270d 左右[3-5]。

1.2　取样及数据收集方法

在这些岛屿上采用样方法[11]进行调查,即每个岛屿设置 2 个大样方(20 m×20 m),每个大样方内又设置 9 个小样方(1 m×1 m), 然后调查 18 个大样方内苔藓植物种群结构,并估计小样方内乔灌木郁闭度,草本盖度和苔藓植物的盖度。用手持式 GPSmap60 CSx 测定了每个样方的经纬度、海拔、坡向和坡度。数据分析前,坡向以北为起点,记为 0°,顺时针计度,应用公式[12] $TRASP=(1-\cos((\pi/180)(坡向-30)))/2$ 将坡向转换为 0—1 之间的数据,转换后数值越大说明生境条件越热干,反之越冷湿。用 HH314A 湿度计测空气湿度。

1.3　数据分析

1.3.1　苔藓植物多样性及环境因子的分析

主要采用 Preston 1962 年提出的 $\log S=z\log A+\log c$ 模型[13]对岛屿上苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿面积、海拔、缀块形状指数及离陆地最近距离的关系进行回归分析;采用 Jaccard 相似性系数[14]计算岛屿和陆地之间苔藓植物物种组成的相似性;计算岛屿形状指数(SI,Shape Index)[15-16](以圆为参照几何形状);照刘鸿雁等[17]对北京东灵山亚高山草甸的干扰评测标准,根据野外调查数据选取 5 项植被特征作为本研究区植被受干扰程度的评价指标,即植被盖度相对比例、物种数相对比例、植株高度相对比例、植被垂直结构比例和伴人植物相对优势度,计算人为干扰 HD(Human disturbance)值[18]。

1.3.2　排序

排序用于分析物种组成与环境因子的关系,预先的除趋势对应分析(DCA)显示,最长的梯度 6. 793,表明

物种组成数据存在较大异质性。因此,采用直接梯度分析中的单峰模型是适宜的方法。典范对应分析(CCA)探索环境因子对物种组成的影响,环境因子的多元共线性可能导致排序结果的不可靠,因此,在进行CCA排序前,计算了环境因子的膨胀因子(IFs),结果显示,所有环境因子的IFs均小于10,说明环境因子间共线性十分微弱,可不予考虑[19]。排序的物种数据矩阵由物种的重要值组成,其矩阵(样方×物种)为18×73;环境数据矩阵由8个环境因子组成,为73×8。物种重要值计算公式[20]为:重要值=(相对盖度+相对频度)/2。

为了评估各个环境因子对物种组成影响的相对重要性,按照Lososova等[21]的方法计算了每一个环境因子对物种组成的总效应和净效应。所有排序的显著性均由Monte Carlo随机置换(9999次)检验进行检验。均采用物种重要值作为计算数据,排序图由CanoDraw for Windows 4.5完成。研究中涉及的统计分析采用Excel 2013进行。

2 结果与分析

2.1 岛屿数据分析

岛屿基本参数是根据贵阳市红枫湖1:10000地形图数字化,利用Areview 3.2软件计算每个样地的面积、周长、海拔高度以及岛屿与大陆之间的最小距离,得到岛屿的基本特征(表1)。亚高原湖泊岛屿苔藓植物的分布,采用面积、离陆地最近距离、岛屿海拔高度和岛屿形状指数对苔藓植物物种数及与陆地物种组成相似性的影响来进行说明。由表1可知,随着岛屿面积和周长增大,苔藓植物种类增大;离陆地最近距离和岛屿形状指数增大,苔藓植物种类减少,而苔藓植物物种数随海拔升高呈不明显的增加趋势。

表1 本文研究岛屿基本概况及苔藓植物种数

Table 1 Baseline data of islands surveyed in present study

岛屿名称 Island	面积/hm^2 Area	离陆地最近距离/m Nearest distance from land	周长/km Perimeter	岛屿海拔/m Altitude	岛屿形状指数 Shape index	苔藓植物种数 No. idividuals
野鸡坡	8.7	236	1.051	1260	1.0052	46
干田边岛1	3.1	205	0.684	1255	1.096	45
新庄岛1	2.8	342	0.583	1237	0.9828	43
红枫湖岛1	1.2	169	0.435	1240	1.1203	32
鸳鸯岛1	1.09	346	0.429	1185	1.1591	28
鸳鸯岛2	0.8	640	0.418	1140	1.3182	24
红枫湖岛2	0.7	396	0.35	1125	1.18	25
新庄岛2	0.6	635	0.298	1175	1.0852	28
干田边岛2	0.4	572	0.312	1108	1.3916	19

2.2 岛屿上苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿地理因子的回归分析

岛屿面积、岛屿海拔、岛屿形状指数和岛屿离大陆最近距离和岛屿海拔与岛屿上苔藓植物的种类的相关性分析表明,岛屿上的苔藓植物数量和物种组成相似性与岛屿面积存在极显著的相关性($P<0.01$),回归方程为$\ln N=0.2691\ \ln A+3.3227$,($R^2=0.8944$),随着岛屿面积的增加,苔藓植物种数也相应增长(图1)。岛屿面积与物种组成相似性也存在极显著的正相关($P<0.01$),回归方程$\ln P=0.1916\ \ln A+2.6071$,($R^2=0.822$),随着岛屿面积的增加,物种组成相似性也相应增长(图1);与岛屿海拔也存在极显著的相关性($P<0.01$),与苔藓植物数量和物种组成相似性回归方程分别为$\ln N=5.3214\ \ln H-34.286$,($R^2=0.9011$),($P<0.01$),$\ln P=3.9128\ \ln H-25.049$,($R^2=0.833$),($P<0.01$),随着岛屿海拔的增加,苔藓植物数量和物种组成相似性也相应增长(图2);随岛屿形状指数和岛屿离大陆最近距离增大,岛屿上苔藓植物的种类和物种组成相应减少(图3,图4),随着岛屿形状指数的增加,岛屿形状越复杂,岛屿形状越偏离几何圆形,一般认为圆形斑块的

边缘效应较小，形状复杂的斑块边缘效应比较强烈[19]，回归方程分别为 ln$N$ = −1.2772 ln$S$ +3.6666，(R^2 = 0.7216)，(P<0.01)，ln$P$ = −1.0718 ln$S$ + 2.8859，(R^2 = 0.9209)，(P<0.01)和 ln$N$ = −0.7498 ln$D$+7.831，(R^2 = 0.9141)，(P<0.01)，ln$P$ = −0.4956 ln$D$ + 5.5908，(R^2 = 0.7237)，(P <0.05)。

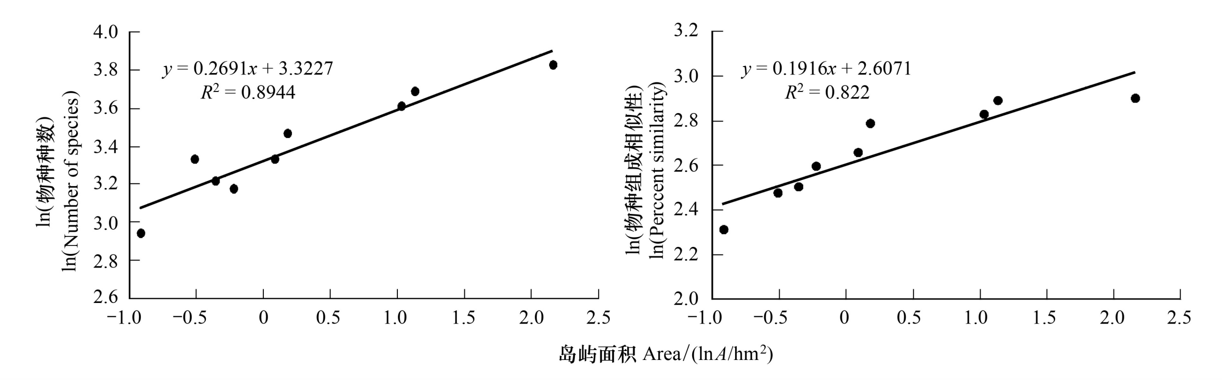


图 1　苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿面积的相关关系

Fig.1　Relationship between number of bryophytes individuals or composition percentage similarity and area

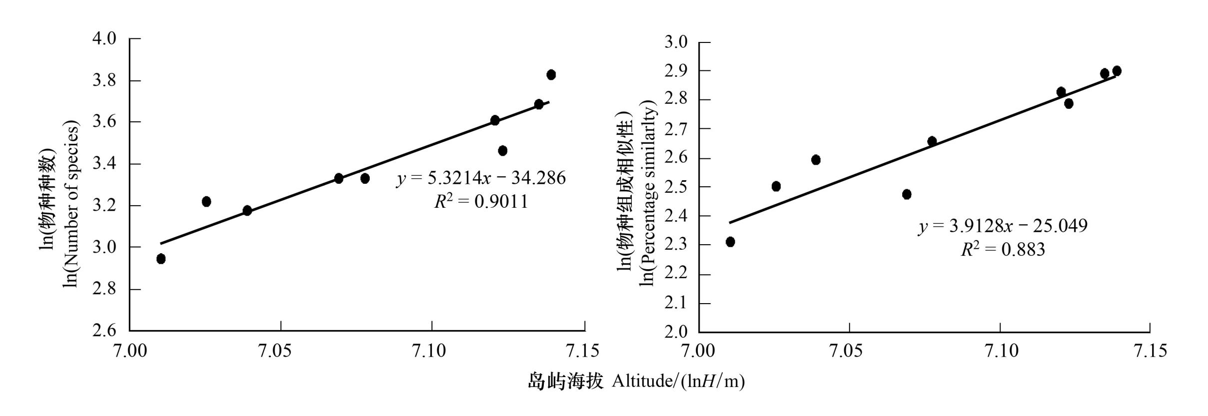


图 2　苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿高度的相关关系

Fig.2　Relationship between number of bryophytes individuals or composition percentage similarity and altitude

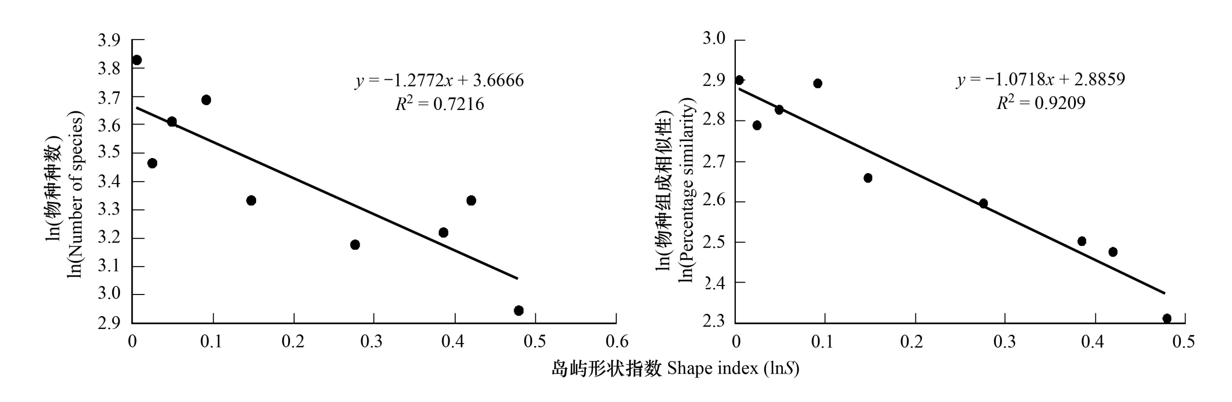


图 3　苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿形状指数的相关关系

Fig.3　Relationship between number of bryophytes individuals or composition percentage similarity and shape index

2.3　亚高原岛屿上 18 个大样方中苔藓植物数据分析

根据可进入性，选取红枫湖上的人为干扰岛屿，有野鸡坡、干田边岛 1、新庄岛 1、红枫湖岛 1、鸳鸯岛 1、鸳鸯岛 2、红枫湖岛 2、新庄岛 2、干田边岛 2 共 9 个岛屿，每个岛屿设置 2 个大样方，每个大样方又设置 9 个小样方，各大样方及大样方的环境条件见表 2，总共 223 余份标本，经鉴定与统计，共得到苔藓植物 73 种。

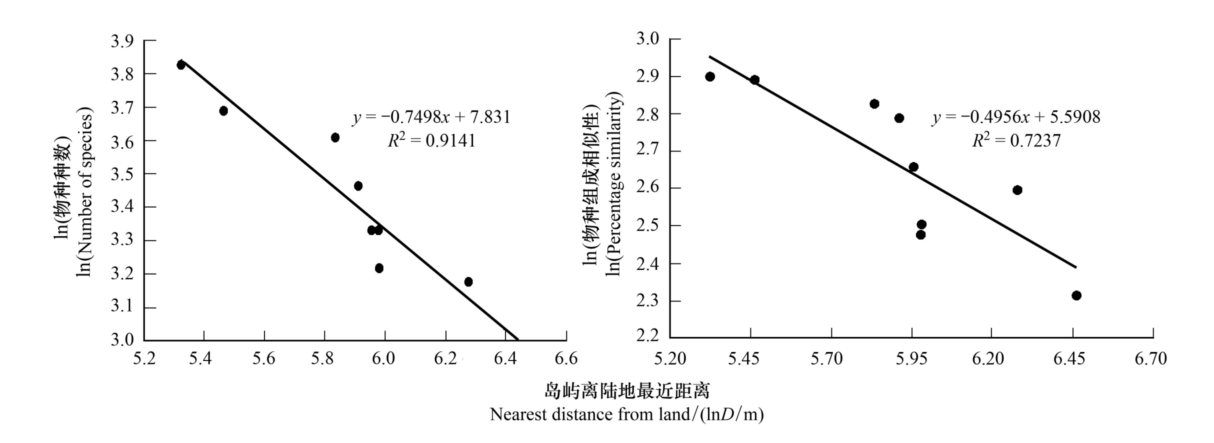


图 4 苔藓植物种数和物种组成相似性与岛屿离大陆最近距离的相关关系

Fig.4 Relationship between number of bryophytes individuals or composition percentage similarity and the nearest distance from land

表 2 18 个大样方的环境条件

Table 2 Environmental conditions of 18 big samples

样方号 Samples	地点 Site	生境 Living condition	空气湿度/% Moisture	海拔/m Altitude	基质 Matrix	乔灌木郁闭度/% Canopy	草本盖度/% Herbcov	人为干扰 HD	坡向 Aspect	坡度/(°) Slop	经纬度 Longitude and latitude
1	野鸡坡	路边	85	1238	土生	90	20	0.25	0.75	25	N26°51′;E106°43′
2	野鸡坡	香樟林	70	1238	石土生	80	10	0.55	0.25	35	N26°51′;E106°43′
3	干田边 1	路边	55	1220	石生	70	30	0.3	0.983	15	N26°49′;E106°42′
4	干田边 1	马桑灌丛	60	1195	土生	60	40	0.25	0.067	20	N26°49′;E106°42′
5	新庄 1	路边慈竹林	70	1215	土生	80	30	0.5	0.067	45	N26°50′;E106°42′
6	新庄 1	岸边	65	1185	土生	50	30	0.6	0.75	20	N26°50′;E106°42′
7	红枫湖岛 1	岸边	60	1112	土生	50	10	0.65	0.933	35	N26°49′;E106°41′
8	红枫湖岛 1	路边	50	1123	土生	40	30	0.7	0.933	40	N26°49′;E106°41′
9	鸳鸯岛 1	岸边	80	1245	石生	30	20	0.6	0.25	25	N26°54′;E106°43′
10	鸳鸯岛 1	路边	75	1246	土生	40	30	0.8	0.75	45	N26°54′;E106°43′
11	鸳鸯岛 2	化香林	70	1283	土生	30	30	0.4	0.25	30	N26°53′;E106°43′
12	鸳鸯岛 2	马桑灌丛	65	1243	石生	30	40	0.55	0.25	35	N26°53′;E106°43′
13	红枫湖岛 2	慈竹林	60	1127	土生	10	30	0.6	0.067	45	N26°50′;E106°43′
14	红枫湖岛 2	马桑灌丛	50	1127	土生	40	40	0.6	0.75	55	N26°50′;E106°43′
15	新庄 2	香樟林	50	1195	土生	40	45	0.75	0.933	35	N26°50′;E106°42′
16	新庄 2	化香林	60	1200	石生	50	50	0.55	0.933	30	N26°50′;E106°42′
17	干田边 2	路边	55	1130	土生	30	48	0.75	0.75	25	N26°49′;E106°41′
18	干田边 2	路边	50	1138	土生	20	60	0.7	0.067	30	N26°49′;E106°41′

2.4 苔藓植物分布与环境因子之间的典范对应分析

用于 CCA 排序的 8 个环境因子共解释了亚高原岛屿苔藓植物物种组成变异的 35.6%,基于所有典范特征值之和的 Monte Carlo 随机置换检验有高的显著性(P=0.0004)(表 3)说明了物种与所测环境因子之间存在强烈关系。CCA2 和 3 轴比第 1 和 4 轴更高的特征值,说明第 2 和 3 轴对物种组成变异的解释中起主导作用,它们分别解释了物种组成总变异的 12.8%和 9.9%(表 3)。CCA2 和 3 轴代表了不同环境梯度,这从环境因子与他们的相关中得到了清晰体现。湿度、海拔和乔灌层郁闭度与 CCA2 轴显著负相关,而人为干扰和坡度与之显著正相关,说明 CCA2 轴综合反映了湿度、海拔和乔灌层郁闭度梯度,但主要的是海拔(高的相关系数)。人为干扰与 CCA3 轴显著的负相关,主要反映了人为干扰梯度。

表 3　环境因子与 CCA 前 4 排序轴的相关系数及排序概要

Table 3　Correlation coefficients between environmental variables and the first four CCA ordination axes and ordination summary

环境因子及排序概要 Environmental variable and summary of ordination	第一轴 Axis1	第二轴 Axis2	第三轴 Axis3	第四轴 Axis4
环境因子 Environmental variable				
湿度 Moisture	-0.1561	-0.7988***	-0.2922	-0.1577
海拔 Altitude	0.1571	-0.9456***	-0.0227	0.1742
基质 Matrix	-0.2777	0.3603	0.0210	-0.2487
乔灌层郁闭度 Canopy	0.0571	-0.4847*	0.4639*	-0.5928**
草本层盖度 Herbcov	0.3103	0.3979	0.0223	0.2803
人为干扰 Human disturbance	0.1415	0.4709*	-0.7194***	-0.0465
坡向 Aspect	0.4349	0.4330	-0.2793	0.2462
坡度 Slope	-0.1476	0.5705**	-0.3455	0.2872
特征值 Eigenvalues	0.759	0.635	0.494	0.389
物种-环境相关 Species-environment correlation	0.945	0.983	0.961	0.898
解释的物种组成变异的累积百分比 Cumulative percentage variance of species data	15.3	28.1	38.0	45.8
物种-环境关系方差的累积百分比 Cumulative percentage variance of species-environment relation	26.0	47.8	64.7	78.1
所有典范轴的显著性测验 Test of significance of all canonical axes	F=1.599	P=0.0004		

* P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001

2.5　环境因子对苔藓植物物种组成的影响

在研究区内总共记录到 73 种苔藓植物,这些物种分属于 17 科 29 属,其中种数最多的前 5 科分别是:青藓科(20 种),丛藓科(11 种),羽藓科(10 种),灰藓科(9 种)和真藓科(5 种)。美灰藓是最优势的物种,它在其发生的 77.7% 取样样方中盖度达到 19.2%。其次是短肋羽藓 *Thuidium kanedae* 和毛口藓 *Trichostomum brachydontium*,发生的样方数分别占总样方数 44.4% 和 38.8%。物种-环境 CCA 双序图(图 5)清晰地展示了环境条件对物种组成的影响,疏网美喙藓 *Eurhynchium laxirete* 和偏叶麻羽藓 *Claopodium rugulosifolium* 位于排序图的右上角,其相应的环境条件为人为干扰大、草本盖度大且热干坡向;位于 CCA2 轴下端的物种,如短肋羽藓、美丽长喙藓 *Rhynchostegium subspeciosum*、绒叶青藓 *Brachythecium velutinum*,它们在冷湿坡向、乔灌层郁闭度大和海拔较高,人为干扰少的地区分布多;土生对齿藓原变种 *Didymodon vinealis*、芽胞湿地藓 *Hyophila propagulifera*、悬垂青藓 *Brachythecium pendulum* 等分布于 CCA1 轴左端,即它们在较高海拔、湿度较大且乔灌层郁闭度大的生境上有较多的分布,美灰藓、拟灰羽藓、缺齿小石藓等物种出现于排序图中间,它们的分布受环境条件影响相对较小,发生于大多数样方。

表 4　环境因子对物种组成的总效应和净效应

Table 4　Gross and net effects of environmental variables on species composition

环境因子 Environmental variables	总效应 Gross effect	F	净效应 Net effect	F
空气湿度 Moisture	0.104	1.865**	0.519	1.386*
海拔 Altitude	0.126	2.301***	0.507	1.322*
基质 Matrix	0.048	0.805	0.547	1.554**
乔灌层郁闭度 Canopy	0.093	1.635*	0.525	1.421*
草本盖度 Herbcov	0.079	1.372	0.532	1.462**
人为干扰 Human disturbance	0.094	1.654*	0.524	1.418*
坡向 Aspect	0.080	1.396	0.531	1.458**
坡度 Slop	0.079	1.367	0.532	1.463**

* P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001

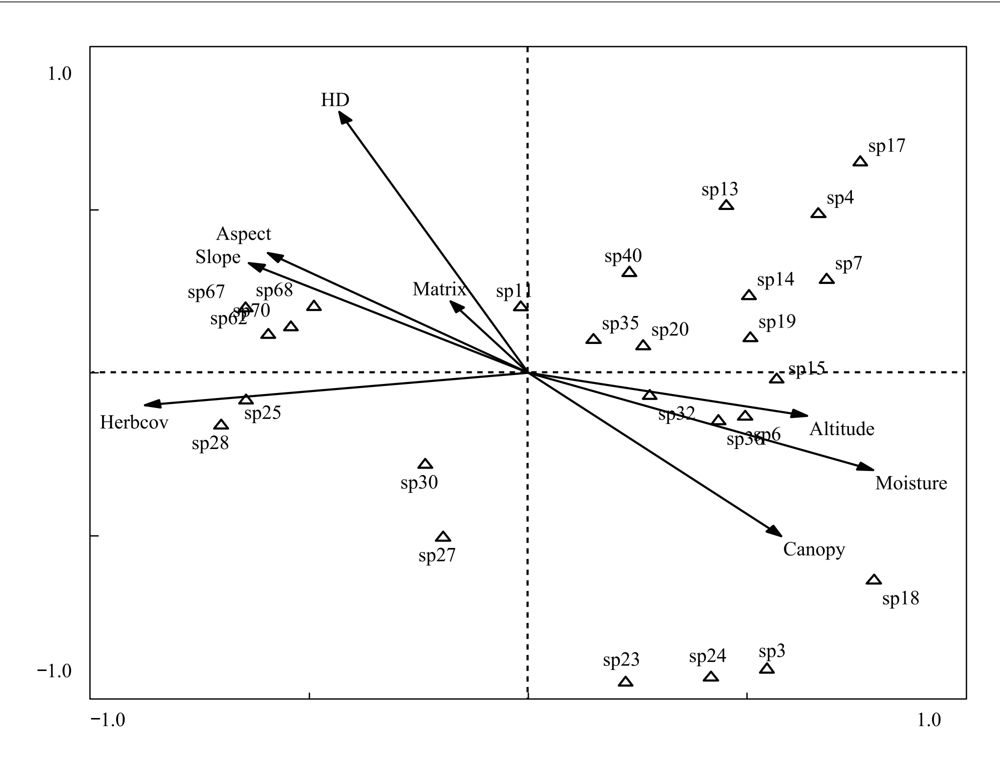


图 5　物种与环境因子的 CCA 双序图

Fig.5　CCA biplot of species and environmental variables

图中仅显示了物种适合度 5%—100%的物种,共 26 种,mositure 空气湿度;Altitude 海拔;Matrix 基质;Canopy 乔灌层郁闭度;Herbcov 草本盖度;HD 人为干扰;Aspect 坡向;slope 坡度;sp3 东亚小羽藓 *Haplocladium strictulum*;sp4 短肋羽藓 *Thuidium kanedae*;sp6 匐枝长喙藓 *Rhynchostegium serpenticaule*;sp7 钙生灰藓 *Hypnum calcicola*;sp11 美灰藓 *Hypnum leptothallum*;sp13 湿地藓 *Hyophila javanica*;sp14 弯叶灰藓 *Hypnum hamulosum*;sp15 狭叶小羽藓 *Haplocladium angustifolium*;sp17 真藓 *Bryum argenteum*;sp18 皱叶青藓 *Brachythecium kuroishicum*;sp19 多褶青藓 *Brachythecium buchananii*;sp20 密叶拟鳞叶藓 *Pseudotaxiphyllum densum*;sp23 皱叶小石藓 *Weissia longifolia*;sp24 多疣麻羽藓 *Claopodium pellucinerve*;sp25 毛口藓 *Trichostomum brachydontium*;sp27 缺齿小石藓 *Weissia edentula*;sp28 细尖鳞叶藓 *Taxiphyllum aomoriense*;sp30 悬垂青藓 *Brachythecium pendulum*;sp32 偏叶麻羽藓 *Claopodium rugulosifolium*;sp35 立碗藓 *Physcomitrium sphaericum*;sp36 美丽长喙藓 *Rhynchostegium subspeciosum*;sp40 卷叶湿地藓 *Hyophila involuta*;sp62 暗绿细鳞苔 *Lejeunea obscura*;sp67 地钱 *Marchantia polymorpha*;sp68 砂地扭口藓 *Barbula arcuata*;sp70 紫背苔 *Plagiochasma cordatum*

Monte Carlo 随机置换检验表明(表 4),4 个环境因子对物种组成的总效应均达到显著水平;8 个环境因子对物种组成的总效应均达到显著水平($P<0.05$),其中净效应解释物种组成变异量最多是基质、草本盖度、坡度和坡向,其次为乔灌层郁闭度、人为干扰、空气湿度和海拔的解释量依次降低。

3　讨论

3.1　苔藓植物的分布与环境因子关系

研究发现苔藓植物种数和与物种组成相似性,随岛屿面积和岛屿海拔高度的增大而增大。由于岛屿海拔高度与面积正相关,因此物种数和物种组成相似性也与海拔相关,面积越大,合适的生境面积也越大,与其他研究中得到的结论是一致的[6,22]。然而其物种数和物种组成相似性随岛屿离大陆最近距离增大而减小,离陆地距离越大,岛屿与陆地的距离越远, 其上物种的迁入就越慢[23-24]。另一方面,水对苔藓植物孢子散布来说,几乎不可逾越的障碍,苔藓植物种群交流机会减少。物种数和物种组成相似性随岛屿形状指数增大而减小,由于岛屿形状指数越大,岛屿形状越复杂,形状复杂的斑块边缘效应越强烈,苔藓植物物种受到环境影响更大,因此,苔藓植物物种数越少和物种组成相似性越小。

3.2　苔藓植物物种组成与环境因子关系

采用 CCA 分析物种-环境数据,结合对应排序轴的相关性分析和累计解释量来看,所有典范轴之间极显

著($P<0.001$),说明环境因子对物种确实存在重要的影响。净效应解释物种组成变异量最多的基质、草本盖度、坡度和坡向,主要通过影响湿度,遮阴和光照等环境条件来实现;乔灌层郁闭度、人为干扰、空气湿度和海拔主要通过影响温度、降雨和生境等环境条件来实现。从双序图看,清晰地展示了环境条件对物种组成的影响,美灰藓、拟灰羽藓、缺齿小石藓等物种出现于排序图中间,它们的分布受环境条件影响相对较小,分布较广泛。

4 结论

通过对该地区岛屿苔藓植物的多样性研究和 CCA 环境因素的分析得出:苔藓植物物种数及物种组成相似性随岛屿面积和岛屿高度增大而增大;随岛屿形状指数和岛屿离陆地最近距离增大而减小。通过 CCA 排序分析分析得知物种与环境之间存在显著的相关关系($P<0.001$),说明环境因子对物种分布有显著的影响。经过环境因子对物种组成的净效应的分析得出,其中基质、坡度、草本盖度、坡向、乔灌层郁闭度、人为干扰、空气湿度和海拔对物种组成的净效应达显著水平($P<0.05$),但其作用强度依次减小。美灰藓是最优势的物种,它在其发生的 77.7%取样样方中盖度达到 19.2%。

参考文献(References):

[1] 陈小勇, 宋永昌. 受损生态系统类型及影响其退化的关键因素.长江流域资源与环境, 2004, 13(1): 78-83.
[2] 吴玉环,程国栋,高谦.苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用.中国沙漠, 2003, 23(3):215-220.
[3] 黄先飞, 秦樊鑫, 胡继伟, 李存雄. 红枫湖沉积物中重金属污染特征与生态危害风险评价.环境科学研究, 2008,21(2):18-23.
[4] 王敬富, 陈敬安, 曾艳, 杨永琼, 杨海全. 贵州红枫湖沉积物磷赋存形态的空间变化特征.湖泊科学, 2012, 24 (5): 789-796.
[5] 杨通铨,刘鸿雁, 喻阳华. 红枫湖水质变化趋势及原因分析.长江流域资源与环境, 2014,23(S1):96-102.
[6] 张 欣, 徐高福, 沈栋伟, 顾泳洁, 高辉, 罗小华, 陈小勇. 千岛湖岛屿苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)种群的维持和天然更新.生态学报, 2007, 27(2):424-431.
[7] Patiño J, Werner O, González-Mancebo J M. The impact of forest disturbance on the genetic diversity and population structure of a late--successional moss. Journal of Bryology, 2010, 32(3):220-231.
[8] 王莹莹. 浙江千岛湖生境片断化对苔藓植物物种及遗传多样性的影响.上海:华东师范大学, 2011.
[9] Wang Y Y, Zhu Y Q, Wang Y F. Differences in spatial genetic structure and diversity in two mosses with different dispersal strategies in a fragmented landscape. Journal of Bryology, 2012, 34(1): 9-16.
[10] 王莹莹, 王幼芳, 汪岱华, 李敏, 左勤.千岛湖生境片断化对苔藓植物多样性的影响.植物科学学报, 2011, 29(4):435-445.
[11] 杨冰, 熊源新.四川福宝丹霞地貌地区苔藓植物物种多样性研究// 生态文明建设中的植物学:现在与未来——中国植物学会第十五届会员代表大会暨八十周年学术年会论文集——第 1 分会场:系统与进化植物学. 北京: 中国植物学会, 2013.
[12] Roberts D W, Cooper S V. Concepts and techniques of vegetation mapping // Ferguson D, Morgan P, Johnson F D, eds. Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management. Washington DC: US Department of Agriculture, 1989, 257:90-96.
[13] 邬建国.岛屿生物地理学理论:模型与应用.生态学杂志, 1989, 8(6): 34-39.
[14] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法. Ⅰ α 多样性的测度方法(下).生物多样性, 1994, 2(4):231-239.
[15] Laurance, W F, Yensen, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. Biological Conservation, 1991, 55 (1): 77-92.
[16] Hoffmeister, T S, Vet L E M, Biere, A, Holsinger K, Filser, J. Ecological and evolutionary consequences of biological invasion and habitat fragmentation. Ecosystems, 2005, 8 (6): 657-667.
[17] 刘鸿雁, 崔海亭, 张金海, 向国良.旅游开发对东灵山亚高山草甸的影响. 生态学杂志, 1998, 17(3):63-66.
[18] 曲亚男, 苗艳明, 张钦弟, 刘晓宁, 毕润成. 旅游干扰对云丘山景区内植被的影响. 生物学杂志, 2013, 30(6): 45-49.
[19] Ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Ithaca, New York: Microcomputer Power, 1998.
[20] 岳明, 周虹霞. 太白山北坡落叶阔叶林物种多样性特征. 云南植物研究, 1997, 19(2): 171 -176.
[21] Lososová Z, Chytrý M, Cimalová S, Kropáč Z, Otýpková Z, Pyšek P, Tichý L. Weed vegetation of arable land in central europe: gradients of diversity and species composition. Journal of Vegetation Science, 2004, 15(3): 415-422.
[22] Burns K C. 2004. Relationships between the demography and distribution of two bird-dispersed plants in an island archipelago. Journal of Biogeography, 2004, 31(12):1935-1943.
[23] 奚为民, 钟章成, 毕润成. 四川缙云山森林群落林窗边缘效应的研究. 植物生态学与地植物学学报,1993,17(3):232-242.
[24] 彭少麟. 南亚热带演替群落的边缘效应及其对森林片断化恢复的意义.生态学报, 2000, 20(1):1-8.